

УДК 621.316

П.Н.АЛАЕВ

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КЛЮЧАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ КОММУТАЦИЕЙ

Рассматриваются принципы построения и методика расчета ограничителей перенапряжений на полупроводниковых ключах переменного тока с принудительной коммутацией.

Рассматриваемые ограничители перенапряжений (ОП) выполняются автономными либо групповыми. Автономные ОП защищают от перенапряжений полупроводниковый ключ (ПК), установленный в одном полюсе сети, а групповые ОП защищают сразу несколько ПК, установленных в разных полюсах сети и находящихся под разными электрическими потенциалами.

Схема ПК с автономным ОП показана на рис.1, где коммутирующий конденсатор C_k на стадии дугогашения шунтируется параллельно соединенными резистором $R_{ш}$ (который подключается диодом VD5 в момент смены полярности напряжения на конденсаторе, и отключается тиристором VS1 в момент спада до нуля его тока) и варистором R_U . Параллельное включение резистора $R_{ш}$ и варистора R_U позволяет повысить стабильность уровня ограничения перенапряжения и уменьшить энергию варистора. Шунтирование конденсатора резистором $R_{ш}$ в ПК переменного тока оправданно, учитывая естественную коммутацию тиристора VS2 в схеме на рис.1, в отличие от более сложной принудительной коммутации тиристора в ПК постоянного тока [1].

Схемы трехфазных ПК с групповыми ОП показаны на рис.2. В схеме на рис.2, а ОП выполнен варисторным (используется параллельное или параллельно-последовательное соединение варисторов). Подключаются варисторы к ПК диодным коммутатором VD1-VD12. Расчет такого ОП выполняется также, как и для сетей постоянного тока, учитывая, что длительность стадии ограничения напряжения значительно меньше длительности полупериода колебаний сети переменного тока и, следовательно, напряжение сети переменного тока при расчете можно принять постоянным. При этом для расчета ОП в схеме на рис.2, а можно воспользоваться зависимостями, приведенными в [2], с учетом $E = \frac{3}{2} \cdot U_m$, $L = \frac{3}{2} \cdot L_\phi$, где U_m – амплитуда фазного

напряжения сети переменного тока; L_{ϕ} – индуктивность фазной нагрузки.

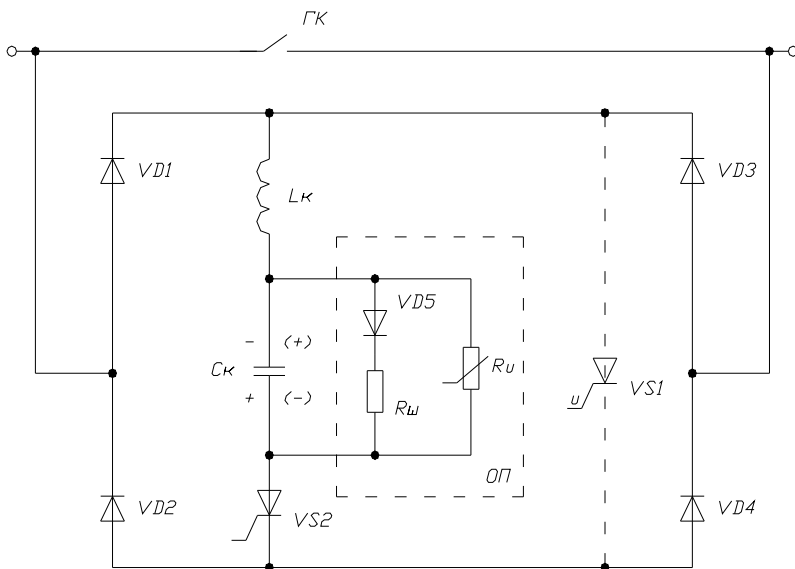


Рис.1 – Гибридный ПК с принудительной коммутацией переменного тока и автономным ограничителем перенапряжений

В схеме на рис.2, б ограничение перенапряжений проводится параллельно соединенными резистором $R_{ш}$ (коммутируемым тиристорами VS1-VS6 и диодами VD7-VD12) и варистором R_U (коммутируемым диодами VD1-VD12). Включение тиристоров VS1-VS6 здесь происходит синхронно с появлением тока в варисторе R_U .

Оценим влияние резистора $R_{ш}$ на характеристики варистора R_U в схемах ОП на рис.1 и рис.2, б.

На стадии ограничения перенапряжения на конденсаторах ПК (при появлении тока в варисторе R_U), расчетная схема замещения контура коммутации с ОП (без учета токов конденсаторов ПК) будет иметь вид на рис.3, где U_{cm} , R_{ϕ} – напряжение стабилизации и динамическое сопротивление варистора VD12; учетом $E = U_m$, $L = L_{\phi}$.

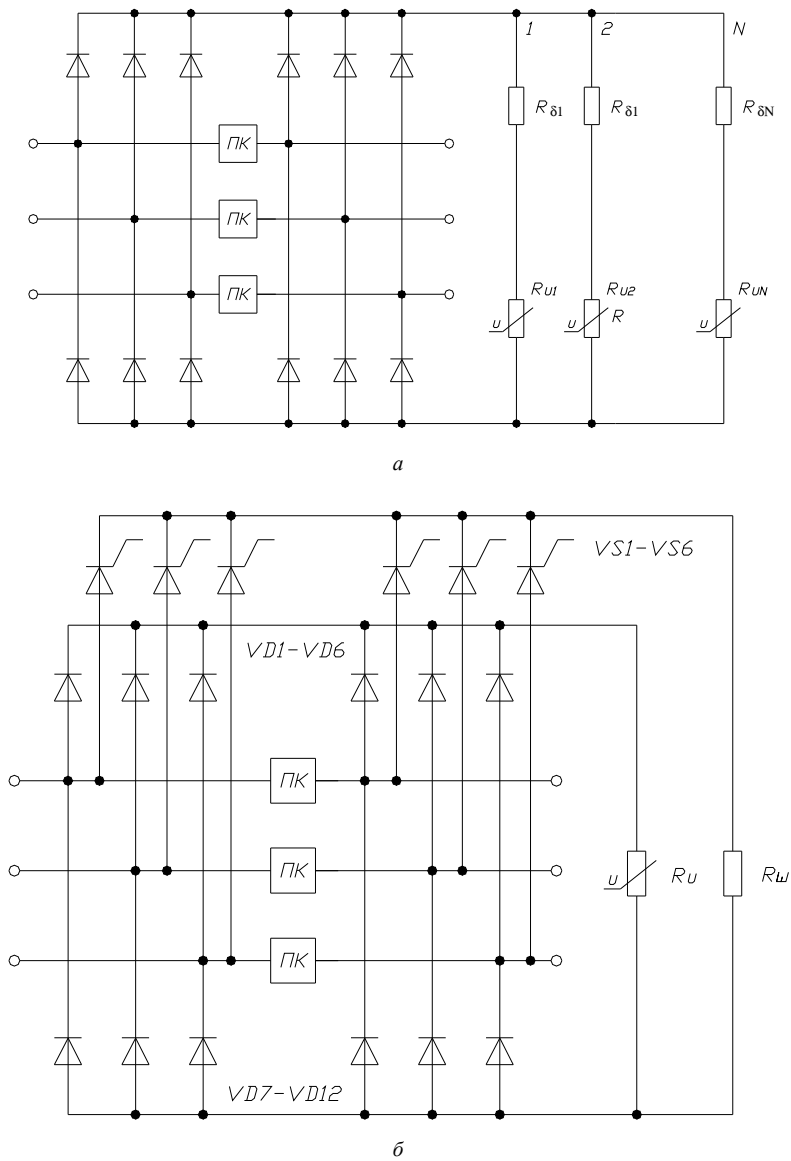


Рис.2 – Групповые ограничители перенапряжений для трехфазных сетей переменного тока

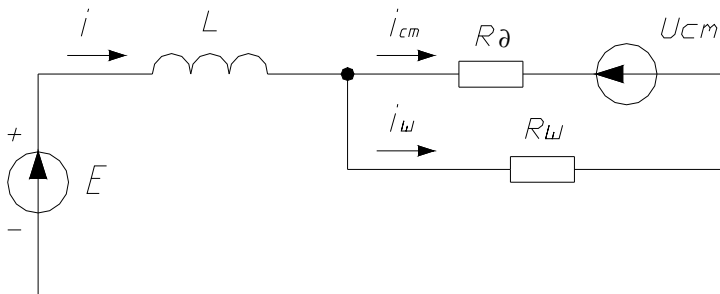


Рис.3 – Расчетная схема замещения контура коммутации с ограничителем перенапряжений с параллельно включенными варистором и резистором

Процесс, протекающий в схеме замещения, описывается уравнениями:

$$\begin{cases} E = L \cdot \frac{di}{dt} + U_{cm} \\ U_{cm} = R_{\delta} \cdot i_{cm} + U_{cm} = i_u \cdot R_u, \\ i = i_{cm} + i_u \end{cases}$$

где U_{cm} , i_{cm} – напряжение и ток варистора R_U ; i_u – ток резистора R_u .

Решение с начальными условиями $i(0) = I_{вкл}$ (где $I_{вкл}$ – ток i в момент нарастания напряжения на входе ОП до величины U_{cm}) для тока варистора имеет вид:

$$i_{cm} = -I_* + \left[\frac{I_{вкл} - I_u}{\rho} + I_* \right] \cdot e^{-\frac{t}{\rho \cdot \tau}}, \quad (1)$$

$$\text{где } I_* = \frac{U_{cm} - E}{R_{\delta}}; U_{cm} > E; I_u = \frac{U_{cm}}{R_u}; \rho = 1 + \frac{R_{\delta}}{R_u}; \tau = \frac{L}{R_{\delta}}.$$

Время спада до нуля тока варистора:

$$t_{cn} = \rho \cdot \tau \cdot \ln \left\{ \frac{1 + [(\rho - 1) \cdot I_{вкл} - I_u]}{\rho \cdot I_*} \right\}. \quad (2)$$

Напряжение варистора:

$$u_{cm} = E + R_{\partial} \cdot \left[\frac{I_{вкл} - I_{ш}}{\rho} + I_{*} \right] \cdot e^{-\frac{t}{\rho \tau}}. \quad (3)$$

Амплитуда напряжения на ОП:

$$U_{ОП} = U_{cm}(0) = E + R_{\partial} \cdot \left[\frac{I_{вкл} - I_{ш}}{\rho} + I_{*} \right]. \quad (4)$$

Энергия W_{cm} , выделяемая в варисторе R_U , шунтируемом резистором $R_{ш}$:

$$W_{cm} = \int_0^{t_{cn}} i_{cm} \cdot (R_{\partial} \cdot i_{cm} + U_{cm}) dt. \quad (5)$$

С учетом выражений (1)-(3):

$$W_{cm} = \frac{L \cdot I_{вкл}^2}{u^{*} \cdot k^2} \left\{ \rho \cdot (u^{*} - 1) \ln \left[1 - \frac{k \cdot u^{*} - 1}{\rho \cdot (u^{*} - 1)} \right] + (k \cdot u^{*} - 1) \left(1 + \frac{k \cdot u^{*} - 1}{2 \cdot \rho \cdot u^{*}} \right) \right\}, \quad (6)$$

где $k = \frac{R_{\partial} \cdot I_{вкл}}{E}$; $u^{*} = \frac{E}{U_{cm}}$.

Если пренебречь динамическим сопротивлением ($R_{\partial} = 0$), то:

$$W_{cm} = \frac{L \cdot (I_{вкл} - I_{ш})^2}{2 \cdot (u^{*} - 1)}. \quad (7)$$

Снижение энергии варистора R_U резистором $R_{ш}$ можно оценить с помощью коэффициента $K_{сн}$:

$$K_{сн} = \left(\frac{I_{вкл}}{I_{вкл} - I_{ш}} \right)^2 = \left(\frac{1}{1 - \frac{I_{ш}}{I_{вкл}}} \right)^2. \quad (8)$$

Например, при $\frac{I_{ш}}{I_{вкл}} = 0,5$ имеем $K_{сн} = 4$.

Рассмотренные автономные и групповые ОП пригодны и для защиты от перенапряжений ПК, выполненных на базе полностью управляемых полупроводниковых приборов. Кроме того, поскольку при выводе приведенных выше соотношений, необходимых для выбора за-

щитных варисторов, не учитывался ток заряда коммутируемого конденсатора, то разработанная методика расчета ОП пригодна и для этих исполнений ПК.

1. Дикань С.В. Исполнительные и реагирующие органы автоматических переключателей питания электроприемников: Автореф. дисс.... канд. техн. наук. – Харьков, 1982. – 24 с.

2. Могилевский Г.В. Гибридные электрические аппараты низкого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 232 с.

Получено 19.06.2006

УДК 628.93.001

В.В.МОМОТ

КП „Полтаваобленерго”

В.Ф.РОЙ, д-р фіз.-матем. наук

Харківська національна академія міського господарства

ТОЧНІСТЬ ОБЛІКУ РЕАКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОННИМИ ЛІЧІЛЬНИКАМИ РІЗНОГО ТИПУ В ЕЛЕКТРОУСТАНОВКАХ НАПРУГОЮ ПОНАД 1000 В

Розглядається вплив на точність обліку реактивної енергії використання електронних багатофункціональних лічильників різного типу, що широко застосовуються для вимірювання активної та реактивної енергії в трьохфазних трьохпроводних мережах напругою 6-10 кВ і вище. Пропонується застосування уніфікованих лічильників з однаковими принципами вимірювання реактивної потужності за умови однозначних визначень повної і реактивної потужності та енергії.

Для генеруючих енергокомпаній питання зниження втрат електроенергії в електричних мережах носить першочерговий характер. Зменшення втрат активної електроенергії, зумовлених перетоками реактивних потужностей, є реальною експлуатаційною технологією енергозбереження в електричних мережах. Для підвищення ефективності роботи систем обліку на даний час широко застосовуються різноманітні електронні багатофункціональні лічильники, що дозволяють проводити облік спожитої активної та реактивної енергії (при необхідності – облік генерації активної-реактивної енергії та облік за тарифами, диференційованими за періодом часу). Точний облік реактивної енергії сучасними приладами обліку має важливе значення, оскільки протікання реактивної складової повного струму по розподільчих мережах призводить до додаткових втрат електроенергії.

Ці втрати перекладаються на енергопостачальну компанію, адже споживач оплачує спожиту електроенергію тільки на межі балансової належності. Надалі це впливає в понаднормові технічні втрати електроенергії, за які енергокомпанія додатково розраховується з ДП